- Variablenzugriffe sind nicht notwendigerweise atomar.
- Das hat zur Konsequenz, dass eine unterbrochende Variablenzuweisung möglicherweise nur teilweise durchgeführt worden ist. Auf einer 32-Bit-Maschine mit einem 32 Bit breiten Datenbus wäre es etwa denkbar, dass eine 64-Bit-Größe (etwa **long long** oder **double**) nur zur Hälfte kopiert ist, wenn eine Unterbrechung eintrifft.
- Dies bedeutet, dass im Falle einer Unterbrechung eine Variable nicht nur einen alten oder neuen Wert haben kann, sondern auch einen undefinierten.
- Um solche Probleme auszuschließen, bietet der ISO-Standard 9899-1999 den ganzzahligen Datentyp *sig_atomic_t* an, der in <*signal.h*> definiert ist.
- Bei Zugriffen auf Variablen dieses Typs wird im Falle einer Unterbrechung nur der alte oder der neue Wert beobachtet, jedoch nie ein undefinierter.
- *sig_atomic_t* wird typischerweise in Kombination mit **volatile** verwendet.

Wecksignale mit *alarm*

sigalrm.c

```
#include <signal.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

static volatile sig_atomic_t time_exceeded = 0;

static void alarm_handler(int signal) {
   time_exceeded = 1;
}

int main() {
   if (signal(SIGALRM, alarm_handler) == SIG_ERR) {
      perror("unable to setup signal handler for SIGALRM");
      exit(1);
   }
   alarm(2);
   puts("Na, koennen Sie innerhalb von zwei Sekunden etwas eingeben?");
   int ch = getchar();
   if (time_exceeded) {
      puts("Das war wohl nichts.");
   } else {
      puts("Gut!");
   }
}
```

Wecksignale mit *alarm*

sigalrm.c

```
if (signal(SIGALRM, alarm_handler) == SIG_ERR) {
   perror("unable to setup signal handler for SIGALRM");
   exit(1);
}
alarm(2);
```

- Für jeden Prozess verwaltet UNIX einen Wecker, der entweder ruht oder zu einem spezifizierten Zeitpunkt sich mit dem Signal *SIGALRM* meldet.
- Der Wecker wird mit *alarm* gestellt. Dabei wird die zu verstreichende Zeit in Sekunden angegeben.
- Mit einer Angabe von 0 lässt sich der Wecker ausschalten.

tread.h

```
#ifndef TREAD_H
#define TREAD_H

#include <unistd.h>

int timed_read(int fd, void* buf, size_t nbytes, unsigned seconds);

#endif
```

- Mit Hilfe des Weckers lässt sich der Systemaufruf *read* zu *timed_read* erweitern, das ein Zeitlimit berücksichtigt.
- Falls das Zeitlimit erreicht wird, ist kein Fehler, sondern es wird ganz schlicht 0 zurückzugeben.
- Wie bereits beim vorherigen Beispiel wird hier ausgenutzt, dass nicht nur normale Programmabläufe, sondern auch einige Systemaufrufe wie etwa *read* unterbrechbar sind.

tread.c

```
#include <signal.h>
#include <unistd.h>
#include "tread.h"

static volatile sig_atomic_t time_exceeded = 0;

static void alarm_handler(int signal) {
   time_exceeded = 1;
}
```

- Der Signalbehandler für *SIGALRM* arbeitet wie gehabt. Allerdings wird im Unterschied zu zuvor die Variable und der Behandler **static** deklariert, damit diese Deklarationen privat bleiben und nicht in Konflikt zu anderen Deklarationen stehen.

Lese-Operationen mit Zeitlimit

tread.c

```
int timed_read(int fd, void* buf, size_t nbytes, unsigned seconds) {
   if (seconds == 0) return 0;
   /*
    * setup signal handler and alarm clock but
    * remember the previous settings
    */
   void (*previous_handler)(int) = signal(SIGALRM, alarm_handler);
   if (previous_handler == SIG_ERR) return -1;
   time_exceeded = 0;
   int remaining_seconds = alarm(seconds);
   if (remaining_seconds > 0) {
      if (remaining_seconds <= seconds) {
         remaining_seconds = 1;
      } else {
         remaining_seconds -= seconds;
      }
   }

   int bytes_read = read(fd, buf, nbytes);

   /* restore previous settings */
   if (!time_exceeded) alarm(0);
   signal(SIGALRM, previous_handler);
   if (remaining_seconds) alarm(remaining_seconds);

   if (time_exceeded) return 0;
   return bytes_read;
}
```

tread.c

```
void (*previous_handler)(int) = signal(SIGALRM, alarm_handler);
```

- Aus der Sicht einer Bibliotheksfunktion muss damit gerechnet werden, dass auch noch andere Parteien einen Wecker benötigen und deswegen *alarm* aufrufen.
- Deswegen ist es sinnvoll, die eigene Nutzung so zu gestalten, dass die Weckfunktion für die anderen nicht sabotiert wird.
- Dies ist prinzipiell möglich, weil *signal* den gerade eingesetzten Signalbehandler im Erfolgsfalle zurückliefert. Dieser wird hier der Variablen *previous_handler* zugewiesen.

tread.c

```
time_exceeded = 0;
int remaining_seconds = alarm(seconds);
if (remaining_seconds > 0) {
   if (remaining_seconds <= seconds) {
      remaining_seconds = 1;
   } else {
      remaining_seconds -= seconds;
   }
}
```

- Die gleiche Rücksichtnahme erfolgt bei dem Aufruf von *alarm*.
- Im Erfolgsfalle liefert *alarm* den Wert 0, falls zuvor der Wecker ruhte oder einen positiven Wert, der die zuvor noch verbliebenen Sekunden bis zum Signal spezifiziert.
- Die Variable *remaining_seconds* wird auf den Wert gesetzt, den wir abschließend verwenden, um den Wecker neu zu stellen, nachdem er in dieser Funktion nicht mehr benötigt wird.

- *read* hat in diesem Szenario verschiedene Möglichkeiten, zurückzukommen. Erstens kann *read* ganz normal etwas einlesen (positiver Rückgabewert), es kann ein Eingabeende vorliegen (Rückgabewert gleich 0) oder es kann ein Fehler eintreten (negativer Rückgabewert).
- Im Falle einer Unterbrechung durch ein Signal bricht der Systemaufruf mit einem Fehler ab, d.h. es wird -1 zurückgeliefert. Die Variable *errno* hat dann den Wert *EINTR*.
- Wenn *read* unterbrochen wird und mit -1 endet, wurde nichts weggelesen. Ein unterbrochener *write*-Systemaufruf, der -1 liefert, hat nichts geschrieben. Wenn *read* bzw. *write* bereits gelesen bzw. geschrieben haben, wenn sie unterbrochen werden, dann liefern sie nicht -1, sondern die Zahl der bereits gelesenen bzw. geschriebenen Bytes zurück.
- In diesem Beispiel wird jedoch nicht *errno* überprüft, sondern die Variable *time_exceeded* untersucht.

tread.c

```
int bytes_read = read(fd, buf, nbytes);

/* restore previous settings */
if (!time_exceeded) alarm(0);
signal(SIGALRM, previous_handler);
if (remaining_seconds) alarm(remaining_seconds);

if (bytes_read < 0 && time_exceeded) return 0;
return bytes_read;
```

- Bevor *alarm* erneut aufgesetzt wird, muss zuvor der alte Signalbehandler restauriert werden.
- Wenn dies in umgekehrter Reihenfolge geschehen würde, dann gibt es ein kleines Zeitfenster, in dem das Signal *SIGALRM* eintreffen könnte, noch bevor es zum Aufruf von *signal* kam.
- In diesem Falle würde der andere Signalbehandler nicht wie geplant aufgerufen werden.
- Daher wird hier zuerst der alte Signalbehandler eingesetzt, bevor *alarm* aufgerufen wird. Auf diese Weise wird das Fenster geschlossen.

- Grundsätzlich kann ein Prozess einem anderen Prozess (einschliesslich sich selbst) ein Signal senden.
- Voraussetzung ist dabei unter UNIX, dass der andere Prozess dem gleichen Benutzer gehört oder der das Signal versendende Prozess mit Superuser-Privilegien arbeitet.
- Der ISO-Standard für C sieht zum Signalversand nur eine Funktion *raise*() vor, die es erlaubt, ein Signal an den eigenen Prozess zu versenden.
- Im POSIX-Standard kommt der Systemaufruf *kill*() hinzu, der es erlaubt, ein Signal an einen anderen Prozess zu verschicken, sofern die dafür notwendigen Privilegien vorliegen.

killparent.c

```
#include <signal.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/wait.h>

void sigterm_handler(int signo) {
   const char msg[] = "Goodbye, cruel world!\n";
   write(1, msg, sizeof msg - 1);
   _Exit(1);
}

int main() {
   if (signal(SIGTERM, sigterm_handler) == SIG_ERR) {
      perror("signal"); exit(1);
   }

   pid_t child = fork();
   if (child == 0) {
      kill(getppid(), SIGTERM);
      exit(0);
   }
   int wstat;
   wait(&wstat);
   exit(0);
}
```

killparent.c

```
kill(getppid(), SIGTERM);
```

- Der Systemaufruf *kill* benötigt zwei Parameter, wobei der erste die Prozess-ID des Signalempfängers und der zweite Parameter das zu versendende Signal nennt.
- Das Versenden von *SIGTERM* gilt per Konvention als „freundliche“ Bitte, den Prozess zu terminieren.
- Der Empfänger erhält so die Gelegenheit, Aufräumarbeiten vorzunehmen, bevor er abschließt.
- Alternativ zu *SIGTERM* gibt es auch *SIGKILL*, das sich nicht behandeln lässt, d.h. dass der Empfänger unter keinen Umständen mehr zum Zuge kommt.

killparent.c

```
void sigterm_handler(int signo) {
   const char msg[] = "Goodbye, cruel world!\n";
   write(1, msg, sizeof msg - 1);
   _Exit(1);
}
```

- Hier ist vorgesehen, dass der Signalbehandler im Falle von *SIGTERM* noch eine Meldung ausgibt, bevor der Prozess terminiert wird.
- Da die Verwendung von Funktionen der *stdio* wie etwa *puts* innerhalb von Signalbehandlern tabu ist, wird hier der Systemaufruf *write* verwendet.
- Ebenfalls tabu ist *exit*, da dabei Funktionen der *stdio* zur Leerung aller Puffer aufgerufen werden.
- Alternativ kann die Funktion *_Exit* aufgerufen werden, die mit dem ISO-Standard 9899-1999 eingeführt wurde. Diese umgeht sämtliche Aufräumarbeiten und terminiert unmittelbar den aufrufenden Prozess.

- Der Systemaufruf *kill*() erfüllt aber auch noch einen weiteren Zweck. Bei einer Signalnummer von 0 wird nur die Zulässigkeit des Signalversendens überprüft.
- Dies kann dazu ausgenutzt werden, um die Existenz eines Prozesses zu überprüfen.
- Mit folgenden Fehler-Codes ist dabei zu rechnen:
  - *ESRCH*: Die genannte Prozess-ID ist zur Zeit nicht vergeben.
  - *EPERM*: Die genannte Prozess-ID existiert, aber es fehlen die Privilegien, dem Prozess ein Signal zu senden.

waitfor.c

```
#include <errno.h>
#include <signal.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

int main(int argc, char** argv) {
   char* cmdname = *argv++; --argc;
   if (argc != 1) {
      fprintf(stderr, "Usage: %s pid\n", cmdname);
      exit(1);
   }

   /* convert first argument to pid */
   char* endptr = argv[0];
   pid_t pid = strtol(argv[0], &endptr, 10);
   if (endptr == argv[0]) {
      fprintf(stderr, "%s: integer expected as argument\n",
         cmdname);
      exit(1);
   }

   while (kill(pid, 0) == 0) sleep(1);

   if (errno == ESRCH) exit(0);
   perror(cmdname); exit(1);
}
```

- Gelegentlich kommt es vor, dass Prozesse nur auf das Eintreffen eines Signals warten möchten und sonst nichts zu tun haben.
- Theoretisch könnte ein Prozess dann in eine Dauerschleife mit leerem Inhalt treten (auch *busy loop* bezeichnet).
- Dies wäre jedoch nicht sehr fair auf einem System mit mehreren Prozessen, da dadurch Rechenzeit vergeudet würde.
- Abhilfe schafft hier der Systemaufruf *pause*(), der einen Prozess schlafen legt, bis ein Signal eintrifft.

Auf eintreffende Signale warten

pingpong.c

```
#include <signal.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

static volatile sig_atomic_t sigcount = 0;

void sighandler(int sig) {
   ++sigcount;
   if (signal(sig, sighandler) == SIG_ERR) _Exit(1);
}

int main() {
   /* this signal setting is inherited to our child */
   if (signal(SIGUSR1, sighandler) == SIG_ERR) {
      perror("signal SIGUSR1"); exit(1);
   }

   pid_t parent = getpid();
   pid_t child = fork();
   if (child < 0) {
      perror("fork"); exit(1);
   }
   if (child == 0) {
      sigcount = 1; /* give the ball to the child... */
      playwith(parent);
   } else {
      playwith(child);
   }
}
```

Auf eintreffende Signale warten

pingpong.c

```
static void playwith(pid_t partner) {
   for(int i = 0; i < 10; ++i) {
      if (!sigcount) pause();
      printf("[%d] send signal to %d\n",
         (int) getpid(), (int) partner);
      if (kill(partner, SIGUSR1) < 0) {
         printf("[%d] %d is no longer alive\n",
            (int) getpid(), (int) partner);
         return;
      }
      --sigcount;
   }
   printf("[%d] finishes playing\n", (int) getpid());
}
```

- Mit *pause* wartet der aufrufende Prozess bis zum Eintreffen eines Signals. Wenn dieser Systemaufruf beendet wird, ist das Resultat immer negativ und *errno* ist auf *EINTR* gesetzt.

Auf eintreffende Signale warten

pingpong.c

```
static volatile sig_atomic_t sigcount = 0;
void sighandler(int sig) {
   ++sigcount;
   if (signal(sig, sighandler) == SIG_ERR) _Exit(1);
}

   /* ... */
   if (signal(SIGUSR1, sighandler) == SIG_ERR) {
      perror("signal SIGUSR1"); exit(1);
   }
   /* ... */
```

- *SIGUSR1* gehört zusammen mit *SIGUSR2* zu den Signalen ohne Sonderbedeutung, die problemlos für Zwecke der Prozesskommunikation verwendet werden können.
- Wenn *sighandler* noch vor *fork* als Signalbehandler installiert wird, dann erbt auch der neu erzeugte Prozess diese Einstellung.
- *sighandler* installiert sich selbst erneut, da der ISO-Standard 9899-2011 offen lässt, ob der Signalbehandler nach dem Eintreffen des Signals installiert bleibt oder nicht.